

Badania nośności dwuprzęsłowych płyt warstwowych

Dr inż. Jan Gierczak, Politechnika Wroclawska

1 Wprowadzenie

W laboratorium PWr. przeprowadzono badania dwuprzęsłowych płyt warstwowych, o rozpiętości 2 x 6,0m, produkcji KINGSPAN w skali naturalnej, obciążonych równomiernie i statycznie. Celem badań było określenie nośności granicznej płyt warstwowych oraz wyznaczenie ścieżki równowagi statycznej. Płyty były podparte na dwóch przeciwległych krawędziach i w środku rozpiętości tworząc w przekroju belkę dwuprzęsłową.

Badano następujące rodzaje płyt:

- XD 70 blacha trapezowa o gr. 0,7 mm – płyta dwuprzęsłowa sztuk 3;
- XD 70 blacha trapezowa o gr. 0,9 mm – płyta dwuprzęsłowa sztuk 3;

Badania przeprowadzono w laboratorium w następujących modelach:

1. P12.1 – XD 70 –0,7mm (108) $l_0 = 2 \times 6,000$ m
2. P12.2 – XD 70 –0,7mm (108) $l_0 = 2 \times 6,000$ m
3. P12.3 – XD 70 –0,7mm (108) $l_0 = 2 \times 6,000$ m
4. P12.4 – XD 70 –0,9mm (108) $l_0 = 2 \times 6,000$ m
5. P12.5 – XD 70 –0,9mm (108) $l_0 = 2 \times 6,000$ m
6. P12.6 – XD 70 –0,9mm (108) $l_0 = 2 \times 6,000$ m.

2. Dane techniczne płyt warstwowych

Płyty warstwowe KS1000 XD z rdzeniem izolacyjnym z pianki poliuretanowej przeznaczone są do stosowania jako przekrycia dachowe w połączeniu z wierzchnią warstwą wodoszczelną. Warstwa wodoszczelna może być wykonana z membrany PCV i EPDM mocowanej

mechanicznie lub z papy bitumicznej termozgrzewalnej. Płyty te mają zastosowanie w układach konstrukcyjnych dachu z płatwiami lub w systemie bezpłatwio- wym o minimalnym spadku dachu 2%. Płyty te wolno stosować w obiektach, których minimalna temperatura wewnętrzna jest większa od 5°C.

Do produkcji płyt KS1000 XD jest używana blacha stalowa ocynkowana ze stali S250GD+Z275 według PN-EN 10326:2005 pokryta od strony widocznej powłoką poliesterową grubości 25 mm, a od strony rdzenia zabezpieczona jest lakierem podkładowym zwiększającym przyczepność do izolacji.

Każdorazowo badano dwie płyty (XD 70) o szerokości 2 x 1000 mm. Przylegające płyty były łączone, po swojej długości, wkrętami. Parametry płyt, które składały się z pianki poliuretanowej oraz z blachy trapezowej podano za zleceniodawcą w tabeli 1. Blacha trapezowa była wykonana ze stali o granicy plastyczności $R_e = 220$ MPa o grubościach 0,7 mm i 0,9 mm.

Płyta trapezowa ma wysokość 108 mm, półka górna jest o szerokości 183 mm o usztywnieniu o szerokości 128 mm, półka dolna jest o szerokości 40 mm. Środek tworzy z płaszczyzną pionową kąt 117° i jest co 36 mm usztywniony. Poliuretan ma grubość mierzonej od półki górnej 70 mm.

3. Opis stanowiska badawczego

Dla płyt dwuprzęsłowych stanowisko składało się z trzech koźłów stalowych, na których spoczywały badane płyty. Dwie płyty oparte są na całej krawędzi prostopadłej do fałd blachy trapezowej, tj. na szerokości

Tabela 1. Parametry wytrzymałościowe badanej płyty

Stal	Gatunek	S220GD + Z275
Pianka rdzenia	Gęstość nominalna	43,0±3 kg/m ³
	Wytrzymałość na ściskanie (wartość średnia)	277,65 kPa
	Wytrzymałość na ściskanie (wartość minimalna)	178,20 kPa
	Wytrzymałość na ściskanie przy 10% odkształceniu (wartość średnia)	273,50 kPa
	Wytrzymałość na ściskanie przy 10% odkształceniu (wartość minimalna)	187,90 kPa
	Moduł sprężystości przy ściskaniu – średni	6,61 MPa
	Moduł sprężystości przy ściskaniu – minimalny	4,53 MPa
	Wytrzymałość na rozciąganie – średnia	94,3 kPa
	Wytrzymałość na rozciąganie – minimalna	39,9 kPa

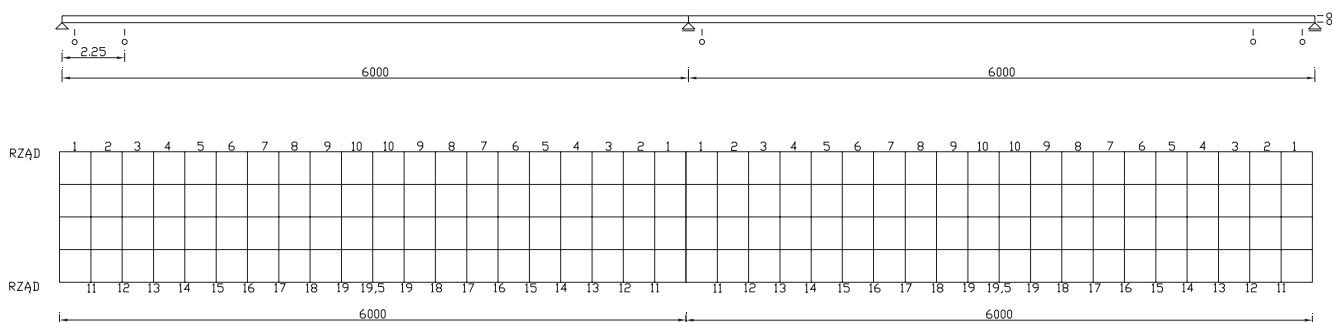
Tabela 2. Równoważne obciążenie równomierne rozłożone

Belka dwuprzęsłowa		Belka dwuprzęsłowa	
obciążenie od rzędu 1 do i	obciążenie równomierne rozłożone [kN/m ²]	obciążenie od rzędu 1 do i	obciążenie równomierne rozłożone [kN/m ²]
1	0,017	13	1,327
2	0,066	14	1,423
3	0,142	15	1,536
4	0,243	16	1,662
5	0,365	17	1,798
6	0,505	18	1,942
7	0,658	19	2,091
8	8,23	19,5	2,166
9	0,994	20	2,241
10	1,168	20,5	2,312
11	1,197	21	2,389
12	1,251	21,5	2,456

2,00 m. Kozły były rozstawione co 6,0 m. Szerokość podparcia badanych płyt na kozłach skrajnych i środkowych wynosiła 65 mm. Podpora środkowa dla badań dla modelu P12.5 została zwiększona do 120 mm, a dla modelu P12.6 do 160 mm. Czujniki zegarowe były rozstawione w 2,25 m od podpór zewnętrznych dla modelu P12.1. Dla pozostałych badań rozstaw ten zwiększono do 2,75 m od podpór skrajnych. Oparcie płyty na koźle oporowym wynosiło na krańcach po 65 mm. Czujniki pomiarowe były rozmieszczone w środku rozpiętości, co drugą fałdę oraz przy podporze. Dodatkowo sprawdzano kąt obrotu podpory za pomocą dwóch czujników zegarowych. Odczyty przemieszczeń były wykonywane z dokładnością do 0,001 mm. Obciążenia płyt fałdowych z poliuretanem odbywało się etapami. Kolejność obciążenia płyt pokazano na rysunku 1. Za obciążenie użyto worków z piaskiem o wadze 10 kg. Płyty badane były obciążane zgodnie z rysunkiem w rzędach po 7 worków, co 30 cm. W płytach dwuprzęsłowych układano worki począwszy od pierwszego rzędu. Rząd od 1 do 10 składał się z 7 worków po 4 kolumny. Dwie kolumny były od pod-

**Rys. 2.** Symulowane obciążenie równomierne workami wypełnionymi piaskiem

pór zewnętrznych usytuowane 15 cm, a dwie następne kolumny były usytuowane po 15 cm z jednej i drugiej strony od podpory środkowej. Rząd od 11 do 19 składał się z 2 x 2 x 6 worków pomiędzy rzędami od 1 i 2 do 9–10. Rząd 19,5 składał się z 2 x 6 worków usytuowanych w środku płyty dwuprzęsłowej. Rząd 20 składał się z 2 x 6 worków układanych 30 cm od środka rozpiętości płyt w stronę podpory środkowej. Natomiast rząd 20,5 składał się z 2 x 6 worków układanych 30 cm od środka rozpiętości płyt w stronę podpór zewnętrznych. Rzędy 21 i 21,5 oraz rząd 22 i 22,5 był układany odpowiednio 60 i 90 cm od środka płyt warstwowych.

**Rys. 1.** Schemat statyczny stanowiska badawczego dla płyty dwuprzęsłowej

4. Wyniki

Wyniki badań zestawiono na wykresach obciążenie – przemieszczenie. Wykresy pokazują ścieżkę równowagi statycznej dla badanego elementu. Obciążenie zamieniono na równoważne obciążenie równomierne rozłożone zgodnie z tabelą 2. Za wyczerpanie nośności granicznej przyjęto pojawienie się pierwszego załomu plastycznego widocznego nieuzbrojonym okiem. Dalsze obciążanie następowało po trwałych i widocznych załomach plastycznych. Za stan graniczny użytkowania przyjęto przekroczenie przemieszczeń $L/200$, tj. 30 mm. Badane modele niszczyły się nad podporą środkową w miejscu występowania największego momentu zginającego oraz siły tnącej. W tabeli 3 pokazano wartości graniczne dla SGN i SGU mierzone obciążeniem zastępczym równomiernie rozłożonym.

Na fotografii 3 pokazano załomy plastyczne zniszczonych płyt. Widoczne są trwałe załomy plastyczne. Na rysunkach 4 i 5 pokazano ścieżki równowagi statycznej dla modeli P12.3 i P12.6. W tabeli 3 dla stanu granicznego użytkowania SGU i stanu granicznego nośności SGN jest duża zgodność dla modeli w poszczególnych grupach. Interesującym porównaniem może być SGN i SGU dla samej blachy trapezowej. W tabeli 4 podano nośności dla poszczególnych modeli otrzymane z doświadczenia i oszacowane teoretycznie. Oszacowanie teoretyczne ugięć i nośności dla modeli P12.1 – P12.6



Rys. 3. Powstałe załomy plastyczne w fazie końcowej dla modelu P12.6

obliczono przy założeniu, że nie następuje redukcja półek ściskanych według teorii Winter'a. Założono, że poliuretan o grubości 70 mm zabezpiecza półki ściskane przed wyobczeniem lokalnym. W obliczeniach nie uwzględniano współpracy poliuretanu w przenoszeniu obciążeń. Ponadto, nie uwzględniono wpływu siły skupionej w strefie podporowej działającej na środek blachy trapezowej. W tym przypadku poliuretan wypełniający fałdę pomaga w przenoszeniu obciążenia skupionego, tzn. reakcji środkowej belki dwuprzęsłowej. Takie podejście szacowania ugięć i nośności elementów pozwala oszacować ugięcia płyt oraz nośność płyty. W tabeli 4 w kolumnie 3 podano dwie wartości. Wartość nośności blachy przy przyjęciu do obliczeń granicy plastyczności $f_y = 220$ MPa, natomiast w nawiasach wartość przy użyciu granicy doraźnej $f_u = 300$ MPa. Dokładność oszacowania nośności modeli można zwiększyć, wykonując obliczenia blachy trapezowej bez udziału pianki poliuretanowej i wykorzystując granicę doraźną blachy f_u . Świadczyć to może, że po przekroczeniu granicy plastyczności w półkach blachy trapezowej nie następuje odpajanie blachy od poliuretanu.

Tabela 3. Zestawienie wyników badań doświadczalnych

Model	Szerokość podpory pośredniej w [mm]	SGN [kg/m ²]	SGU [kg/m ²]
P12.1	65	200,0 (158,7)*	166,0
P12.2		200,0 (142,3)*	132,7
P12.3		200,0 (142,3)*	142,3
P12.4		253,3 (209,1)*	179,8
P12.5	120	253,3 (194,2)*	179,8
P12.6	160	253,3 (209,1)*	179,8

*w nawiasach podano początek tworzenia się załomu plastycznego

5. Wnioski i zalecenia

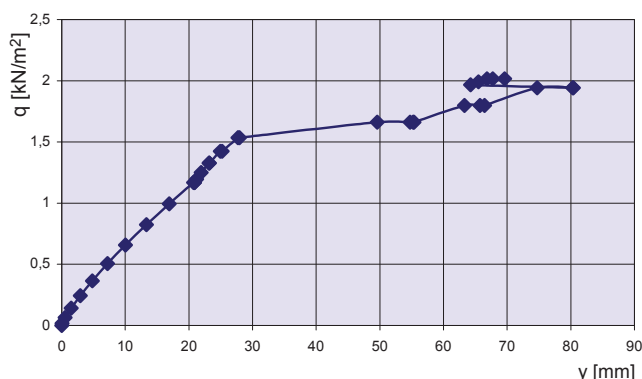
Na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych i obserwacji możemy stwierdzić:

Tabela 4. Porównanie wyników badań z teoretycznymi modelami obliczeniowymi

Modele	SGN z badań q_d	SGN q_t	Błąd	SGU q_d	SGU q_t	Błąd
1	2	3	4	5	6	7
	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[%]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[%]
P12.1–3	147,8±3,7%	112,6 (153,5)	31,3 (3,7)	147,0	142,2	3,4
P12.4-6	204,1±4,9%	135,1 (184,2)	51,0 (10,8)	179,8	170,6	5,4

q_d – obciążenie uzyskane z doświadczenia, q_t – obciążenie uzyskane teoretycznie, SGN, SGU – odpowiednio stan graniczny nośności i użytkowania

Model P12.3

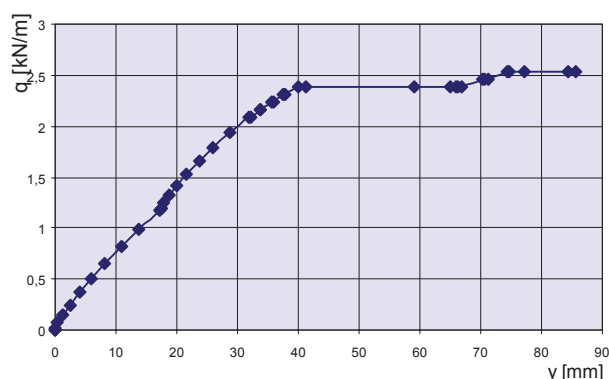


Rys. 4. Ścieżka równowagi statycznej dla modelu P12.3

Płyty dwuprzęsłowe o rozpiętości 2 x 6,0 m ulegają zniszczeniu nad podporą środkową; pojawiał się załom plastyczny w środku i powiększał się w miarę dalszego obciążania modelu; ścieżka równowagi statycznej ma charakter nieliniowo-sprężysto-plastyczny.

Płyty z pianką poliuretanową charakteryzują się innym modelem zniszczenia niż blachy trapezowe, które to posiadają ścieżkę równowagi statycznej o charakterze nieliniowo-sprężysto-kruchym.

Model P12.6



Rys. 5. Ścieżka równowagi statycznej dla modelu P12.6

Zaproponowany model szacowania nośności i ugięć blachy trapezowej przy założeniu braku redukcji pól ściskanych pozwala oszacować SGN i SGU z dokładnością nieprzekraczającą 10,8%.

BIBLIOGRAFIA

[1] Gierczak J., Badania laboratoryjne płyt warstwowych KINSPAN w Akredytowanym Laboratorium Instytutu Budownictwa PWr, PWr., I-2, Raport serii SPR 37/2006

Pęknięcia spoin pachwinowych w połączeniach widełkowych prętów kratownic stalowych

Dr hab. inż. Eugeniusz Hołała, mgr inż. Mateusz Parzonka, Politechnika Wroclawska

1. Wprowadzenie

W wielu kratownicach stalowych, szczególnie w konstrukcjach dachów hal przemysłowych (rys. 1), stosowane są spawane połączenia prętów tych kratownic z blachami węzłowymi w widełkowej formie konstrukcyjnej. Podłużne wycięcia w prętach wykratowania (słupkach i krzyżulcach), wykonanych z kątowników, teowników lub dwuteowników, ułatwiają wpasowanie tych elementów w blachy węzłowe podczas wytwarzania kratownic, zarówno w warsztacie, jak i na montażu.

W takich połączeniach stosowane są najczęściej spoiny pachwinowe na całej linii kontaktu krawędzi wycięcia pręta z blachą węzłową (rys. 2). Wykonuje się więc podstawowe pachwinowe spoiny podłużne W1 (rys. 2), zakoń-

zione krótkimi spoinami poprzecznymi W2 i W5. Spoiny poprzeczne wyraźnie ograniczają zdolność do odkształceń plastycznych spoin podłużnych, a ponadto przyczyniają się do powstania niedopuszczalnych niezgodności spawalniczych (szczególnie pęknięć) w rejonie ich występowania. Przykłady takich pęknięć przedstawiono w dalszej części pracy.

W lekkich kratownicach dachowych, wykonanych z prętów walcowanych o stosunkowo małych przekrojach, występowanie pęknięć w należycie wykonanych spoinach poprzecznych W2 i W5 (rys. 2) nie jest zjawiskiem powszechnym. Inna sytuacja ma jednak miejsce w przypadku kratownic o znacznych rozpiętościach, w których stosuje się elementy o dużym polu przekroju, odprowadzające bardzo intensywnie ciepło ze spoin i SWC (strefy